

Conference Paper, Published Version

Kannen, Christin; Seidel, Frank; Lang, Cornelia; Schulz, Philipp

Hydraulische und hydrodynamische Analyse des geplanten Sektorwehrs am Platzspitz in Zürich

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106531>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Kannen, Christin; Seidel, Frank; Lang, Cornelia; Schulz, Philipp (2019): Hydraulische und hydrodynamische Analyse des geplanten Sektorwehrs am Platzspitz in Zürich. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): 21. Treffen junger WissenschaftlerInnen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 75-82.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Hydraulische und hydrodynamische Analyse des geplanten Sektorwehrs am Platzspitz in Zürich

Christin Kannen, Karlsruher Institut für Technologie
Dr. Frank Seidel, Karlsruher Institut für Technologie
Dr. Cornelia Lang, Karlsruher Institut für Technologie
Philipp Schulz, Karlsruher Institut für Technologie

Hintergrund

Das Platzspitzwehr liegt ca. 1,8 km unterstrom der Mündung des Zürichsees in die Limmat und reguliert den Seewasserstand. Das im Jahr 1951 erbaute Dachwehr erreicht im Jahr 2023 das Ende seiner technischen Lebensdauer und erfüllt aus heutiger Sicht nicht die Anforderungen in puncto Reguliergenauigkeit und Flexibilität bei Hochwasser. Der Kanton Zürich, vertreten durch das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) projiziert derzeit den Umbau des Dachwehrs zu einem Sektorwehr. Das Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) und das Institut für Hydromechanik (IfH) des KIT wurden beauftragt, die im Projektverlauf aufgetretenen hydraulischen und hydrodynamischen Fragestellungen mittels experimenteller Untersuchungen zu beantworten.

Problemstellung

Ziel dieser Untersuchung war die Bereitstellung grundlegender hydraulischer und hydrodynamischer Daten zur Designbestätigung und Erhöhung der Planungssicherheit. Hierzu gehörten Messungen zur Anströmung des Sektorwehrs, die Ermittlung von Wasserstands-Abfluss-Beziehungen und bauwerksspezifischen Abflussbeiwerten sowie die Ermittlung von hydrodynamischen Drücken. Alle Ergebnisse dieser Versuche sollten im Kontext publizierter früherer Untersuchungen bewertet werden. Im Rahmen von systematischen Modelluntersuchungen wurden die Sektorstellung und Unterwasserstände variiert. Als weitere Randbedingungen wurde der Ausfall eines von zwei Wehrfeldern (n-1 Fälle) untersucht. In Bild 1 ist der Sektorkörper in Staustellung, in Vollabsenkung und die zweifeldrige Wehranlage in der Draufsicht dargestellt.

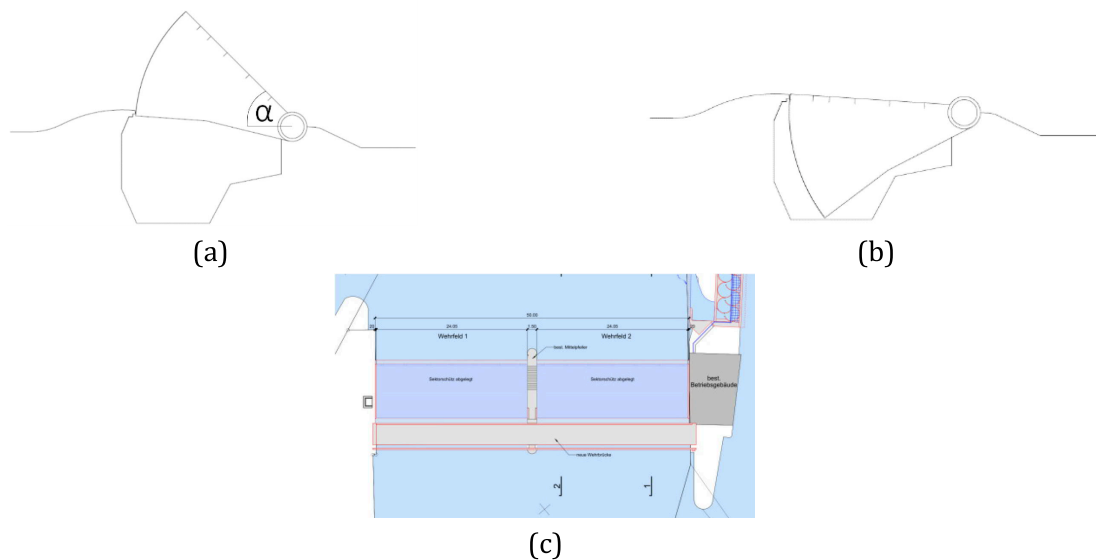


Bild 1: Der Sektorkörper in Staustellung (a), Vollabsenkung (b) und die Wehranlage in der Draufsicht (c).

Modellsetup

Die vielfältigen Fragestellungen innerhalb der Projektion des neuen Platzspitzwehres (z.B. die Abflussleistungsfähigkeit, Einfluss der Anströmbedingungen auf das Abflussverhalten und die hydrodynamische Belastung des Sektorkörpers) konnten auf Grund von ähnlichkeitsmechanischen Aspekten nicht wirtschaftlich in einem Modell abgebildet werden. Das Modellsetup umfasst daher ein Gesamtmodell im Maßstab 1:40 und ein Detailmodell im Maßstab 1:16.

Gesamtmodell im Maßstab 1:40	Detailmodell im Maßstab 1:16
<p>In diesem Modell werden ein Ausschnitt des Zusammenflusses von Limmat und Sihl sowie das Bauwerk selbst dargestellt. Es werden sowohl die Lage des Wehres in einer Flussbiegung als auch die Sohlgeometrie korrekt wiedergegeben. In diesem Modell wurden Messungen zur Anströmung des Wehres, sowie zur Bestimmung der Abflusskapazität durchgeführt.</p> 	<p>In diesem Modell werden die hydrodynamischen Drücke ermittelt. Das Modell wurde so konzipiert, dass alle relevanten Randbedingungen (Sektorstellung, Unterwasserstand, Symmetrie/Asymmetrie der Anströmung) entsprechend den Erkenntnissen aus dem Gesamtmodell realisiert werden können.</p> 

Ergebnisse

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse aus dem umfassenden Untersuchungsprogramm vorgestellt.

Einfluss des Unterwasserstandes

Der Einfluss des Unterwasserstandes, der durch den Fluss Sihl bestimmt wird, auf die Abflusskapazität wurde in einem ersten Untersuchungsschritt für die Sektorwinkel $0^\circ \dots 45^\circ$ untersucht. Bei niedrigen Unterwasserständen bis ca. 405,25 m+NN liegt immer freier Abfluss vor und es konnte keine Beeinträchtigung der Abflusskapazität festgestellt werden (siehe Bild 2). Bei hohem Unterwasserstand kommt es zu einer signifikanten Reduktion der Abflusskapazität durch Rückstau. Diese hydraulische Situation wird maßgeblich vom Verhältnis von Unterwasserstand h_u zu Oberwasserstand h_o bestimmt. Ab einem Verhältnis von $h_u/h_o > 0,9$ tritt Rückstau auf (siehe Bild 5). Dieser wirkt sich insbesondere bei mittleren Sektorwinkeln sehr stark aus. Der Vergleich mit Literaturwerten nach Bollrich (1996) für ein konstruktiv ähnliches rundkroniges Wehr zeigt eine gute Übereinstimmung für die Reduktion der Abflusskapazität.

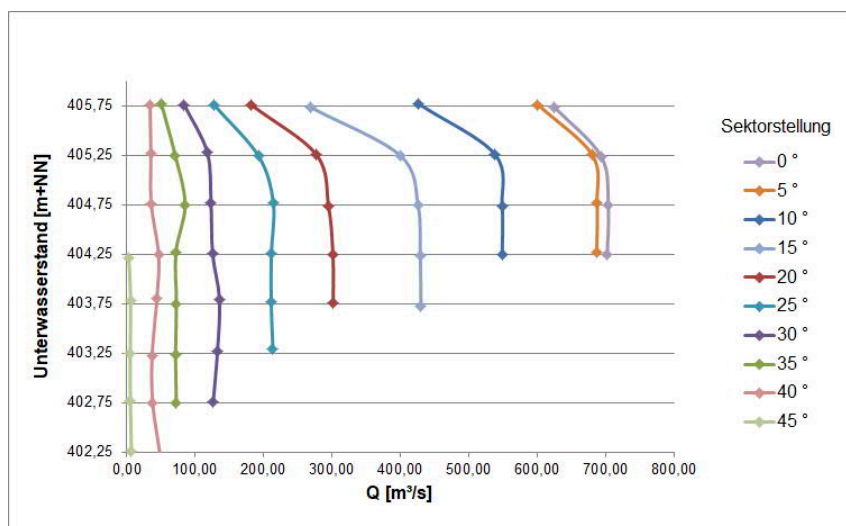


Bild 2: Abfluss über das Sektorwehr in Abhängigkeit der Sektorstellung und des Unterwasserstandes.

Anhand der verschiedenen Unterwasserstände konnten drei Strömungstypen beobachtet werden. Bei sehr niedrigem Unterwasserstand bis ca. 403,75 m+NN stellt sich eine Überströmung mit Wechselsprung ein (siehe Bild 3 a). Die Strömung liegt am Wehrrücken an und unterhalb des Wehres bildet sich ein Wechselsprung aus. Bei höheren Unterwasserständen bis ca. 405,25 m+NN bildet sich ein Tauchstrahl (siehe Bild 3 b). Der Unterwasserstand inkl. Wechselsprung steht bereits am Wehrrücken an. Die Strömung verläuft jedoch weiterhin auf dem Wehrrücken, taucht ins Unterwasser ein und es bildet sich eine Deckwalze über dem eintauchenden Strahl. In Fällen mit Rückstau konnte ein Oberflächenstrahl beobachtet werden (siehe Bild 3 c). Die Strömung löst sich an der Sektoroberkante ab und verläuft nicht mehr parallel zum Wehrrücken. Die beobachteten Strömungstypen konnten anhand von Literaturdaten nach Bradley (1945) bestätigt werden.

a) Strömung mit Wechselsprung



b) Tauchstrahl



c) Oberflächenstrahl

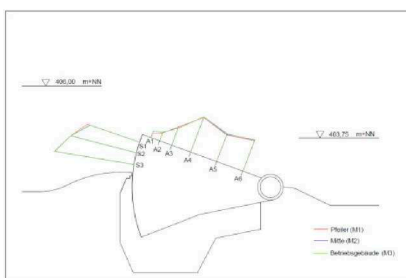


Bild 3: Auftretende Strömungstypen am Sektorkörper.

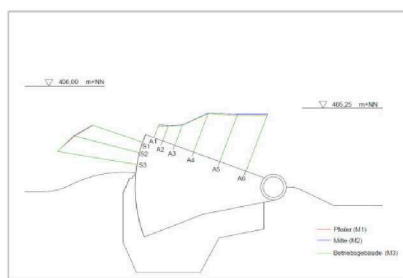
In einem zweiten Untersuchungsbaustein wurden die Drücke auf den Sektorkörper weitergehend untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass sich auf der Stauwand für alle Sektorstellungen eine hydrostatische Druckverteilung ergibt. Lediglich in der Nähe der Sektoroberkante ist eine Abweichung zu beobachten, welche durch die lokale Beschleunigung der Strömung an dieser Stelle verursacht wird. Auf dem Wehrrücken stellen sich in Abhängigkeit vom Sektorwinkel und vom Unterwasserstand verschiedene Druckverteilungen ein (siehe Bild 4).

Oberhalb des Unterwasserstandes wird der Druckverlauf durch einen konstanten Druck bestimmt, welcher durch den Einfluss der Ablösezone infolge der Sektoroberkante überlagert wird. Innerhalb der Ablösezone ist zunächst ein reduzierter Druck zu erkennen. Das Wiederanlegen der Strömung im weiteren Verlauf des Wehrrückens macht sich in einer lokalen Druckerhöhung bemerkbar. Die Ausdehnung dieses Effekts ist von der Sektorstellung abhängig. Bei großen Sektorwinkeln ist die Ausdehnung der Ablösezone in Strömungsrichtung deutlich kleiner als bei kleinen Sektorwinkeln. Bei kleinen Sektorwinkeln kann sich der Einfluss der Ablösezone bis zur Mitte des Wehrrückens auswirken. Unterhalb des anstehenden Unterwasserstandes ist in allen Fällen eine nahezu hydrostatische Druckverteilung auf dem Wehrrücken zu erkennen. Dieser Zusammenhang kann in Übereinstimmung mit Untersuchungen nach Gebler (1988) bestätigt werden.

a) Strömung mit Wechselsprung



b) Tauchstrahl



c) Oberflächenstrahl

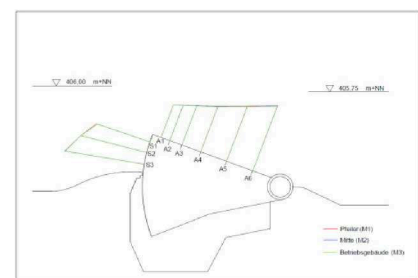


Bild 4: Druckverteilungen auf der Stauwand und dem Wehrrücken in Abhängigkeit des Unterwasserstandes bzw. des Strömungstyps.

Ermittlung der Abflussbeiwerte

Auf Basis der systematischen Untersuchungen zur Abflusskapazität wurden die Abflussbeiwerte C_q für freien und rückgestauten Abfluss ermittelt. Bei freiem Abfluss ergeben sich C_q -Beiwerte in Abhängigkeit des Sektorwinkels und des Verhältnisses von Überfallhöhe $h_{\bar{u}}$ zu Oberwassertiefe h_o . Für

kleine Verhältnisse von h_u/h_o werden tendenziell größere Abflussbeiwerte als für große Verhältnisse ermittelt (siehe Bild 5).

Bei rückgestautem Abfluss, was Verhältnissen von $0,9 < h_u/h_o < 1$ entspricht, nimmt der Abflussbeiwert deutlich ab. An dieser Stelle wird die starke Abhängigkeit der Abflusskapazität von dem sich einstellenden Strömungstyp deutlich. Für den Tauchstrahl und die Strömung mit Wechselsprung ergeben sich deutlich höhere Abflussbeiwerte als für den Oberflächenstrahl. Bei mittleren Sektorwinkeln ist die Beeinträchtigung der Abflusskapazität aufgrund der vorliegenden Strömungsform besonders ausgeprägt.

Für den rückgestauten Zustand weichen die Absolutwerte der beiden Modelle wie auch die Literaturangaben nach Böss (1958) jedoch voneinander ab. Nach vergleichender Analyse aller Daten aus Messungen und Literatur konnte gezeigt werden, dass für rückgestaute Zustände eine Abhängigkeit der Abflussbeiwerte vom Modellmaßstab besteht. Je kleiner die Maßstabszahl, umso größer sind die ermittelten C_q -Beiwerte.

Für freien Abfluss besteht eine gute Übereinstimmung mit den Literaturwerten nach Rihm (2018), siehe Bild 5.

Durch den Vergleich verschiedener zugrundeliegender Versuchsprogramme mit den Ergebnissen dieses Projekts können die Werte beider o.g. Literaturquellen bestätigt und Unterschiede erklärt werden.

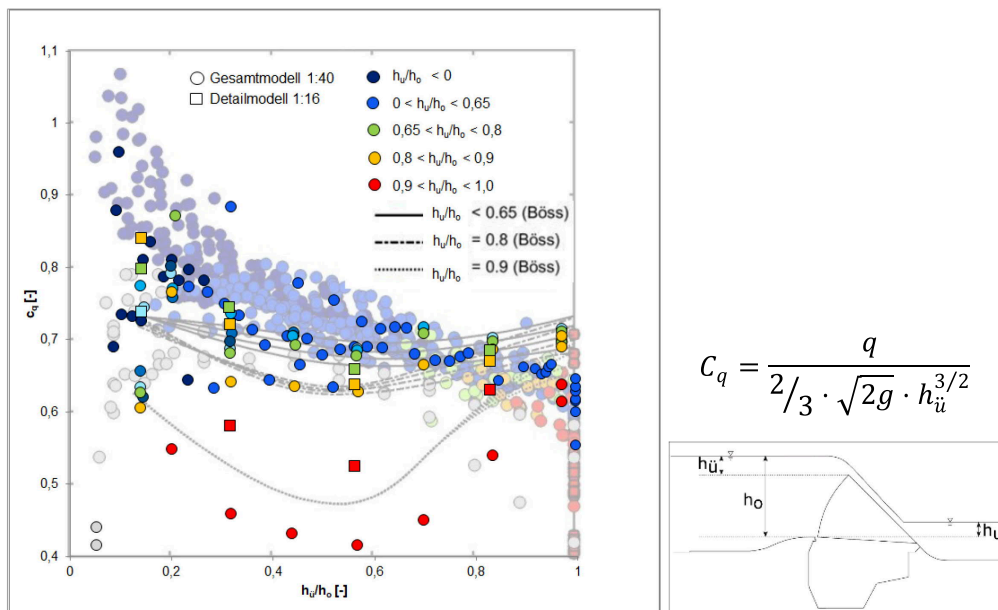


Bild 5: Abflussbeiwerte für das Sektorwehr für freien und rückgestauten Abfluss im Vergleich zu Literaturwerten nach Rihm (transparente Darstellung im Hintergrund), sowie Böss (Linien).

Asymmetrie in der Anströmung

Aufgrund der eingangs beschriebenen Lage der Wehranlage in einer Flussbiegung wurden die Auswirkungen einer nicht symmetrischen Anströmung des Wehres untersucht. Die im Gesamtmodell mit einem Messflügel aufgezeichnete Geschwindigkeitsverteilung oberstrom des Wehres zeigt insbesondere bei kleinen Sektorwinkeln eine deutliche Ungleichförmigkeit (siehe Bild 6). Im Bereich von Wehrfeld 2 (Lage in Flussmitte) stellen sich deutlich höhere Geschwindigkeiten ein als in Wehrfeld 1 (Innenseite der Flussbiegung). Für größere Sektorwinkel nehmen die absoluten

Geschwindigkeiten erwartungsgemäß ab und die Ungleichförmigkeit geht zurück. Für Sektorwinkel größer ca. 25° liegt eine über beide Wehrfelder gleichmäßige Anströmung vor.

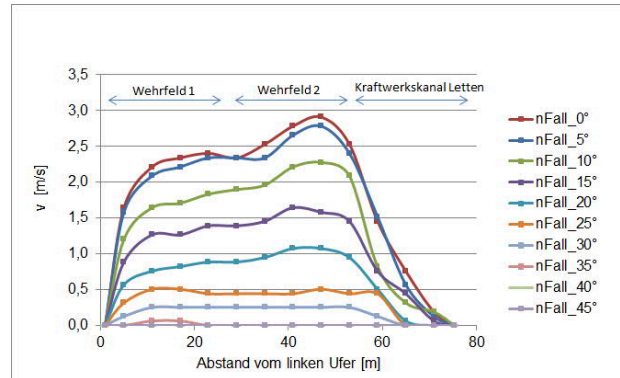


Bild 6: Geschwindigkeitsverteilung oberstrom des Sektorwehrs für verschiedene Sektorstellungen.

Der Einfluss einer asymmetrischen Anströmung auf die Druckverteilung auf dem Sektorkörper wurde für den Extremfall (n-1) eines Ausfalls von Wehrfeld 1 untersucht. Die größten Unterschiede treten bei niedrigem Unterwasserstand und kleinen Sektorwinkeln auf. Unter diesen Randbedingungen kommt es zu einem besonders starken Absink im Bereich des Pfeilerkopfes, der im (n-1)-Fall nochmals stärker ausgeprägt ist als im n-Fall. Durch den Absink kommt es zu einer Druckreduktion um bis zu 30% (siehe Bild 7, rote Linie).

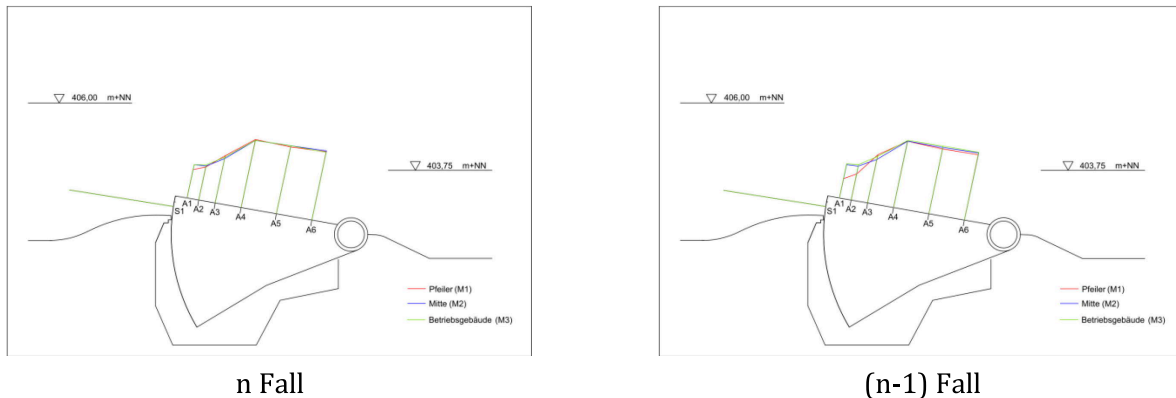


Bild 7: Vergleich der Druckverteilungen auf dem Wehrrücken für n Fall und den (n-1) Fall.

Mittels der Aufzeichnung instationärer Zeitreihen des Drucks wurde eine Analyse der Druckfluktuationen auf dem Sektorkörper durchgeführt. Zunächst wurden die Mittelwerte, Standardabweichungen (RMS-Werte) und Minimal-, sowie Maximalwerte untersucht. Mit steigendem Sektorwinkel nimmt die Schwankungsbreite (Differenz zwischen Minimal- und Maximalwerten) stetig ab. Auch die Standardabweichung (variiert i.d.R. zwischen 0,02...0,10 m) nimmt mit größerem Sektorwinkel leicht ab. Der Einfluss des Unterwasserstandes auf die Druckschwankungen ist eher gering. Eine Ausnahme bilden die Fälle, in denen der Wechselsprung direkt über einem Drucksensor liegt. Hier kommt es zu erhöhten Standardabweichungen sowie Schwankungsbreiten. Für den n-1 Fall zeigen sich für die Standardabweichung geringfügig höhere Werte als für den n Fall. Nur im Bereich des Pfeilerkopfes werden für niedrige Unterwasserstände im n-1 Fall deutlich höhere Standardabweichungen festgestellt. Die Schwankungsbreite ist für den n-1 Fall größer als für den n Fall. Dies gilt insbesondere bei kleinen Sektorwinkeln.

Fazit

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass alle Ergebnisse dieser Untersuchung sehr gut mit Literaturquellen früherer Untersuchungen übereinstimmen und das gewählte Modellsetup damit bestätigt werden kann. Mit den umfassenden Untersuchungen konnte das Konzept des neuen Platzspitzwehres bestätigt werden und eine wichtige Datengrundlage für den weiteren Projektfortgang erarbeitet und die Planungssicherheit für das Projekt signifikant erhöht werden.

Literatur

- Bollrich, Gerhard. 1996. *Technische Hydromechanik*. Berlin : Bollrich, Gerhard [Hrsg.] and Preissler, Günter and Aigner, Detlef [Hrsg.] and Martin, Helmut, 1996.
- Böss, Paul. 1958. *Systematische Modellversuche an Sektorwehren*. Karlsruhe : Technische Hochschule Karlsruhe, Institut für Hydromechanik, Stauanlagen und Wasserversorgung, 1958.
- Bradley, Joseph N. 1945. *Studies of flow characteristics, discharge and pressures relative to submerged dams*. Denver, Colorado : United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, Hydraulic Laboratory Report No. 182, 1945.
- Gebler, Rolf-Jürgen. 1988. Kulturwehr Breisach, Bericht zur Modelluntersuchung. Karlsruhe : Universität Fridericiana zu Karlsruhe, Institut für Wasserbau und Kulturtechnik, 1988.
- Rihm, Larissa. 2018. Entwicklung dimensionsloser Bemessungsdiagramme für verschiedene Verschlusstypen. s.l., Karlsruhe : Bachelorarbeit an der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, 2018.

